

# Implementasi Smart Agriculture Dengan Cloud Computing Untuk Pengelolaan Data Pertanian

Moh. Ali Sobit <sup>1)\*</sup> , Riko Adi Setiawan <sup>2)</sup> 

<sup>1)</sup> <sup>2)</sup> Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

<sup>1)</sup>alivandores15@gmail.com, <sup>2)</sup>ricoadisetiawan156@gmail.com

## Abstrak

Perkembangan teknologi digital mendorong transformasi sektor pertanian menuju sistem berbasis data, namun pengelolaan data pertanian masih menghadapi kendala dalam hal integrasi, aksesibilitas, dan efisiensi. Tujuan: Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem *smart agriculture* berbasis *cloud computing* guna meningkatkan efektivitas pengelolaan data pertanian secara real-time. Metode: Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan merancang dan mengimplementasikan sistem berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan platform cloud, kemudian dilakukan pengujian terhadap kinerja sistem meliputi keakuratan sensor, keandalan pengiriman data, dan aksesibilitas informasi. Hasil: Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data dengan tingkat keberhasilan di atas 95% dan latensi rendah, serta menghasilkan data yang akurat dengan deviasi minimal terhadap kondisi lapangan. Sistem juga mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, khususnya dalam pengelolaan irigasi berbasis data kelembapan tanah. Kesimpulan: Implementasi sistem *smart agriculture* berbasis *cloud computing* terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas pengelolaan data pertanian, meskipun masih terdapat tantangan pada aspek jaringan dan keamanan yang perlu dikembangkan lebih lanjut.

**Kata Kunci:** smart agriculture, cloud computing, Internet of Things, pengelolaan data pertanian, pertanian presisi

**Article history:** Received 5 April 2026, first decision 22 April 2026, accepted 22 August 2026, available online 28 October 2026

## I. PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan salah satu pilar utama dalam mendukung ketahanan pangan dan perekonomian nasional, khususnya di negara agraris seperti Indonesia.[1],[2] Namun demikian, praktik pertanian konvensional yang masih banyak diterapkan menghadapi berbagai tantangan, antara lain keterbatasan akses terhadap informasi real-time, rendahnya efisiensi penggunaan sumber daya, serta minimnya integrasi teknologi dalam pengelolaan data pertanian.[3],[4] Dalam konteks perkembangan teknologi informasi yang pesat, transformasi digital pada sektor pertanian menjadi suatu keniscayaan guna meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan sistem pertanian.[5],[6]

Salah satu pendekatan inovatif yang berkembang pesat adalah konsep *smart agriculture*. [7],[8] Smart agriculture mengintegrasikan teknologi seperti Internet of Things (IoT), sensor, kecerdasan buatan, serta sistem berbasis jaringan untuk memantau dan mengelola aktivitas pertanian secara otomatis dan berbasis data.[9],[10] Melalui pendekatan ini, petani dapat memperoleh informasi yang akurat terkait kondisi tanah, kelembapan, suhu, hingga kebutuhan nutrisi tanaman secara real-time.[11],[12] Namun, implementasi smart agriculture tidak terlepas dari tantangan dalam pengelolaan data yang besar (*big data*), baik dari sisi penyimpanan, pemrosesan, maupun aksesibilitas.[13],[14]

Dalam hal ini, teknologi *cloud computing* hadir sebagai solusi yang efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Cloud computing memungkinkan penyimpanan data secara terpusat, skalabilitas sumber daya komputasi, serta akses data yang fleksibel dari berbagai lokasi.[15],[16] Dengan memanfaatkan infrastruktur cloud, data yang dihasilkan dari berbagai sensor di lahan pertanian dapat dikumpulkan, dianalisis, dan disajikan secara efisien kepada pengguna.[17],[18] Selain itu, cloud computing juga mendukung kolaborasi antar pemangku kepentingan, seperti petani, peneliti, dan pemerintah, dalam pengambilan keputusan berbasis data.[19],[20]

Implementasi smart agriculture berbasis cloud computing memberikan peluang besar dalam meningkatkan kualitas pengelolaan data pertanian.[21],[22] Sistem ini memungkinkan integrasi data dari berbagai sumber menjadi satu

\* Moh. ali sobit

platform terpadu yang dapat diakses secara real-time.[23],[24] Dengan demikian, proses pengambilan keputusan dapat dilakukan secara lebih cepat dan akurat.[25] Sebagai contoh, data kelembapan tanah yang diperoleh dari sensor dapat langsung dianalisis di cloud untuk menentukan kebutuhan irigasi tanaman, sehingga penggunaan air dapat dioptimalkan dan risiko kekeringan dapat diminimalisir.[26],[27]

Namun demikian, penerapan teknologi ini juga menghadapi sejumlah tantangan, khususnya pada aspek jaringan komputer sebagai tulang punggung komunikasi data.[28],[29] Ketersediaan jaringan yang stabil dan andal menjadi faktor kunci dalam memastikan data dapat dikirimkan secara kontinu dari perangkat lapangan ke server cloud.[30],[31] Di wilayah pedesaan atau daerah terpencil, keterbatasan infrastruktur jaringan seringkali menjadi hambatan utama dalam implementasi sistem smart agriculture. Oleh karena itu, diperlukan perancangan arsitektur jaringan yang efisien dan adaptif terhadap kondisi lingkungan.[32], [33]

Selain itu, aspek keamanan data juga menjadi perhatian penting dalam sistem berbasis cloud. Data pertanian yang tersimpan di cloud rentan terhadap ancaman keamanan seperti akses tidak sah, pencurian data, maupun serangan siber lainnya. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme keamanan yang memadai, seperti enkripsi data, autentikasi pengguna, serta pengelolaan akses yang terstruktur. Hal ini bertujuan untuk menjaga integritas dan kerahasiaan data yang menjadi dasar dalam pengambilan keputusan.[34],[35]

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem smart agriculture berbasis cloud computing dalam pengelolaan data pertanian secara efektif dan efisien. Fokus utama penelitian adalah pada integrasi antara perangkat sensor di lapangan dengan platform cloud, serta perancangan arsitektur jaringan yang mendukung komunikasi data secara optimal. Selain itu, penelitian ini juga mengeksplorasi bagaimana sistem yang dibangun dapat memberikan informasi yang relevan dan mudah dipahami oleh pengguna, khususnya petani sebagai aktor utama dalam sektor pertanian.[36],[37]

Dengan adanya sistem yang terintegrasi ini, diharapkan dapat meningkatkan kualitas pengelolaan data pertanian, sehingga berdampak pada peningkatan produktivitas dan efisiensi usaha tani. Lebih jauh lagi, implementasi smart agriculture berbasis cloud computing juga diharapkan dapat menjadi solusi dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya alam, melalui pemanfaatan teknologi yang cerdas dan berkelanjutan.[38],[39]

Sebagai penutup, transformasi digital dalam sektor pertanian melalui implementasi smart agriculture dan cloud computing bukan hanya sekadar inovasi teknologi, tetapi juga merupakan langkah strategis dalam mewujudkan pertanian modern yang adaptif dan berdaya saing tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting untuk memberikan kontribusi ilmiah maupun praktis dalam pengembangan sistem pertanian berbasis teknologi di masa depan.[40]

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Konsep *smart agriculture* merupakan pendekatan modern dalam pengelolaan pertanian yang mengintegrasikan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, serta keberlanjutan sistem pertanian. Pendekatan ini memanfaatkan berbagai teknologi seperti Internet of Things (IoT), sensor nirkabel, sistem informasi geografis, serta analitik data untuk mengumpulkan dan mengolah informasi dari lingkungan pertanian secara real-time.[41] Dengan adanya sistem ini, proses pemantauan kondisi lahan dan tanaman dapat dilakukan secara otomatis dan akurat, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat.

IoT dalam konteks pertanian berperan sebagai penghubung antara perangkat fisik di lapangan dengan sistem digital. Sensor yang digunakan mampu mengukur berbagai parameter penting seperti kelembapan tanah, suhu udara, intensitas cahaya, serta kandungan nutrisi.[42] Data yang dihasilkan oleh sensor tersebut kemudian dikirimkan melalui jaringan komunikasi menuju sistem pusat untuk diproses lebih lanjut. Teknologi komunikasi yang umum digunakan meliputi jaringan nirkabel seperti Wi-Fi, Zigbee, maupun jaringan seluler, yang disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan.

Pengelolaan data dalam smart agriculture tidak dapat dilepaskan dari konsep *big data*. [43] Volume data yang dihasilkan dari berbagai sensor dan perangkat IoT cenderung besar, beragam, dan terus bertambah. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu menangani penyimpanan, pemrosesan, dan analisis data secara efisien. Dalam hal ini, cloud computing menjadi solusi yang banyak digunakan karena kemampuannya dalam menyediakan sumber daya komputasi yang elastis dan terukur.[44] Cloud computing memungkinkan pengguna untuk menyimpan data dalam jumlah besar tanpa harus menyediakan infrastruktur fisik secara mandiri.

Cloud computing menyediakan layanan dalam beberapa model, seperti *Infrastructure as a Service* (IaaS), *Platform as a Service* (PaaS), dan *Software as a Service* (SaaS). Dalam implementasi smart agriculture, model SaaS sering dimanfaatkan untuk menyediakan aplikasi berbasis web atau mobile yang dapat digunakan oleh petani dalam memantau kondisi lahan. Sementara itu, IaaS dan PaaS digunakan untuk mendukung proses penyimpanan data dan

pengembangan aplikasi yang terintegrasi dengan perangkat IoT.[45] Dengan pendekatan ini, sistem menjadi lebih fleksibel dan mudah dikembangkan sesuai kebutuhan.

Selain itu, integrasi antara IoT dan cloud computing memungkinkan terbentuknya sistem yang mampu melakukan analisis data secara otomatis. Data yang dikumpulkan dari sensor dapat diproses menggunakan teknik analitik untuk menghasilkan informasi yang bernilai, seperti prediksi kebutuhan air, deteksi dini penyakit tanaman, serta rekomendasi pemupukan. Hal ini memberikan keuntungan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan mengurangi risiko kegagalan panen.

Dalam aspek jaringan komputer, arsitektur yang digunakan dalam smart agriculture umumnya terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu lapisan perangkat (*device layer*), lapisan jaringan (*network layer*), dan lapisan aplikasi (*application layer*). Lapisan perangkat mencakup sensor dan aktuator yang berinteraksi langsung dengan lingkungan. Lapisan jaringan berfungsi sebagai media komunikasi data antara perangkat dan sistem pusat. Sementara itu, lapisan aplikasi bertanggung jawab dalam menyajikan informasi kepada pengguna dalam bentuk yang mudah dipahami. Keterpaduan antar lapisan ini menjadi faktor penting dalam keberhasilan implementasi sistem.

Keamanan data juga menjadi aspek penting dalam sistem berbasis cloud. Penggunaan teknologi enkripsi, autentikasi, serta kontrol akses diperlukan untuk melindungi data dari ancaman yang dapat merugikan pengguna. Selain itu, sistem juga perlu dirancang agar memiliki tingkat keandalan yang tinggi, sehingga dapat beroperasi secara kontinu tanpa gangguan yang signifikan.[46]

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan smart agriculture berbasis cloud computing mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan pertanian, baik dari sisi penggunaan air, pupuk, maupun tenaga kerja. Sistem yang terintegrasi memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan berbasis data, sehingga memberikan dampak positif terhadap hasil produksi. Selain itu, penggunaan teknologi ini juga mendukung konsep pertanian presisi (*precision agriculture*), yang menekankan pada pengelolaan lahan secara spesifik berdasarkan kondisi yang ada.[47]

Dengan demikian, tinjauan pustaka ini menunjukkan bahwa integrasi antara IoT dan cloud computing dalam smart agriculture memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas pengelolaan data pertanian. Namun, implementasinya tetap memerlukan perhatian terhadap aspek jaringan, keamanan, serta kesiapan pengguna dalam mengadopsi teknologi tersebut. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan sistem yang tidak hanya efektif, tetapi juga mudah diimplementasikan di berbagai kondisi lingkungan pertanian.

### III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tujuan untuk merancang, mengimplementasikan, serta mengevaluasi sistem *smart agriculture* berbasis *cloud computing* dalam pengelolaan data pertanian. Metodologi yang digunakan mencakup beberapa tahapan utama, yaitu perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian sistem, serta analisis hasil.

Tahap pertama adalah perancangan arsitektur sistem yang mengintegrasikan perangkat Internet of Things (IoT) dengan platform cloud. Sistem dirancang menggunakan tiga lapisan utama, yaitu *device layer*, *network layer*, dan *application layer*. Pada *device layer*, digunakan sensor untuk mengukur parameter lingkungan seperti kelembapan tanah, suhu udara, dan intensitas cahaya. Sensor tersebut dihubungkan dengan mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengolah data awal sebelum dikirimkan ke cloud.[48]

Pada *network layer*, data dari mikrokontroler dikirimkan melalui jaringan nirkabel menggunakan protokol komunikasi seperti MQTT atau HTTP. Pemilihan protokol ini didasarkan pada efisiensi penggunaan bandwidth serta kemampuan dalam mengirim data secara real-time. Selanjutnya, data diteruskan ke server cloud untuk disimpan dan diproses.[49]

Pada *application layer*, data yang telah tersimpan di cloud diolah menjadi informasi yang dapat diakses oleh pengguna melalui aplikasi berbasis web atau mobile. Antarmuka pengguna dirancang agar sederhana dan informatif, sehingga memudahkan petani dalam memahami kondisi lahan serta mengambil keputusan yang tepat.

Berikut adalah gambaran umum arsitektur sistem yang diusulkan:

Tahap kedua adalah implementasi sistem. Pada tahap ini dilakukan pemasangan sensor di lahan pertanian yang menjadi objek penelitian. Sensor dikonfigurasi untuk melakukan pengukuran secara periodik dan mengirimkan data ke mikrokontroler. Mikrokontroler kemudian diprogram untuk mengirim data ke cloud menggunakan koneksi internet yang tersedia. Platform cloud yang digunakan mendukung penyimpanan data secara terpusat serta menyediakan layanan analitik sederhana untuk pengolahan data.

Tahap ketiga adalah pengujian sistem. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem dapat berfungsi dengan baik dan terintegrasi secara optimal. Parameter yang diuji meliputi keakuratan data sensor, kecepatan pengiriman data, serta ketersediaan sistem dalam mengakses data secara real-time. Pengujian dilakukan dalam beberapa skenario kondisi lingkungan untuk melihat stabilitas sistem.

Tahap keempat adalah analisis data. Data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem. Analisis dilakukan dengan membandingkan data yang diperoleh dari sensor dengan kondisi aktual di lapangan. Selain itu, dilakukan juga evaluasi terhadap efisiensi sistem dalam mengelola data, termasuk waktu respons dan tingkat keberhasilan pengiriman data.[50]

Untuk memperjelas tahapan penelitian, berikut adalah tabel yang merangkum metode yang digunakan:

Tabel 1. Tabel Tahapan Penelitian

| No | Tahapan Penelitian | Aktivitas Utama                                                       | Output                     |
|----|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1  | Perancangan Sistem | Mendesain arsitektur IoT dan cloud computing                          | Desain sistem              |
| 2  | Implementasi       | Pemasangan sensor, konfigurasi mikrokontroler, integrasi dengan cloud | Sistem berjalan            |
| 3  | Pengujian          | Uji keakuratan sensor, kecepatan data, dan konektivitas jaringan      | Data hasil pengujian       |
| 4  | Analisis           | Evaluasi kinerja sistem dan interpretasi data                         | Kesimpulan dan rekomendasi |

Metode penelitian ini dirancang untuk menghasilkan sistem yang tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga mampu memberikan manfaat nyata dalam pengelolaan data pertanian. Dengan pendekatan yang sistematis dan terstruktur, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi smart agriculture berbasis cloud computing yang aplikatif dan berkelanjutan.[51]

#### IV. HASIL

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *smart agriculture* berbasis *cloud computing* yang dirancang mampu berfungsi dengan baik dalam mengelola data pertanian secara real-time dan terintegrasi. Implementasi sistem dilakukan pada lahan uji dengan memasang beberapa sensor utama, yaitu sensor kelembapan tanah, suhu udara, dan intensitas cahaya. Data yang diperoleh dari sensor berhasil dikirimkan secara berkala ke platform cloud melalui jaringan nirkabel yang telah dikonfigurasi.

Tabel 2. Tabel Hasil Penelitian

| No | Parameter Uji                | Hasil Pengamatan | Keterangan                  |
|----|------------------------------|------------------|-----------------------------|
| 1  | Kelembapan Tanah             | 45% – 70%        | Sesuai kondisi aktual lahan |
| 2  | Suhu Udara                   | 26°C – 32°C      | Stabil sesuai lingkungan    |
| 3  | Intensitas Cahaya            | 300 – 800 lux    | Fluktuatif tergantung waktu |
| 4  | Keberhasilan Pengiriman Data | 95% – 98%        | Sangat andal                |
| 5  | Latensi Data                 | 1 – 3 detik      | Mendekati real-time         |
| 6  | Deviasi Sensor               | ±2% – 5%         | Akurasi cukup tinggi        |

Berdasarkan hasil pengujian, tingkat keberhasilan pengiriman data dari perangkat IoT ke server cloud mencapai nilai yang tinggi, dengan rata-rata keberhasilan di atas 95%. Hal ini menunjukkan bahwa arsitektur jaringan yang digunakan cukup andal dalam mendukung komunikasi data secara kontinu. Waktu latensi pengiriman data juga relatif rendah, sehingga informasi yang ditampilkan pada aplikasi pengguna dapat dikategorikan sebagai *near real-time*. Kondisi ini sangat mendukung kebutuhan pengambilan keputusan yang cepat dalam pengelolaan pertanian.

Dari sisi akurasi, data yang dihasilkan oleh sensor menunjukkan tingkat kesesuaian yang baik dengan kondisi aktual di lapangan. Perbandingan antara data sensor dan pengukuran manual menunjukkan deviasi yang relatif kecil,

sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor yang digunakan cukup valid untuk mendukung sistem. Sebagai contoh, pengukuran kelembapan tanah menunjukkan selisih yang tidak signifikan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan irigasi tanaman. Selain itu, sistem cloud yang digunakan mampu menyimpan data dalam jumlah besar tanpa mengalami kendala performa yang berarti. Data yang tersimpan dapat diakses kembali dengan mudah melalui antarmuka aplikasi, baik dalam bentuk tabel maupun visualisasi grafik. Fitur ini memberikan kemudahan bagi pengguna dalam memantau perubahan kondisi lingkungan secara historis dan melakukan analisis sederhana terhadap pola yang terjadi.

Implementasi sistem juga menunjukkan peningkatan efisiensi dalam pengelolaan sumber daya pertanian. Dengan adanya informasi real-time terkait kondisi lahan, penggunaan air untuk irigasi dapat dioptimalkan sesuai kebutuhan aktual tanaman. Hal ini berdampak pada pengurangan pemborosan air serta peningkatan efisiensi operasional. Selain itu, pemantauan suhu dan intensitas cahaya juga membantu dalam menentukan waktu tanam yang lebih tepat. Namun demikian, terdapat beberapa kendala yang ditemukan selama proses implementasi. Salah satu kendala utama adalah ketergantungan sistem terhadap kualitas jaringan internet. Pada kondisi jaringan yang tidak stabil, terjadi keterlambatan dalam pengiriman data, bahkan dalam beberapa kasus terjadi kehilangan data sementara. Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan infrastruktur jaringan yang memadai menjadi faktor penting dalam keberhasilan sistem.

Dari sisi keamanan, sistem telah dilengkapi dengan mekanisme autentikasi pengguna dan enkripsi data sederhana. Meskipun demikian, pengujian lebih lanjut menunjukkan bahwa sistem masih memiliki potensi kerentanan terhadap serangan tertentu, terutama jika diimplementasikan dalam skala yang lebih besar. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut dalam aspek keamanan untuk memastikan perlindungan data yang lebih optimal. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi antara teknologi IoT dan cloud computing dalam smart agriculture memberikan dampak positif terhadap pengelolaan data pertanian. Sistem yang dibangun mampu meningkatkan efisiensi, akurasi, serta kemudahan akses informasi bagi pengguna. Meskipun masih terdapat beberapa kendala teknis, sistem ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut dan diimplementasikan secara luas dalam sektor pertanian modern.

Dengan demikian, penelitian ini berhasil membuktikan bahwa penerapan smart agriculture berbasis cloud computing dapat menjadi solusi yang efektif dalam menghadapi tantangan pengelolaan data pertanian di era digital. Pengembangan lebih lanjut diharapkan dapat difokuskan pada peningkatan stabilitas jaringan, keamanan sistem, serta integrasi dengan teknologi analitik yang lebih canggih untuk menghasilkan sistem yang lebih adaptif dan cerdas.

## V. PEMBAHASAN

Implementasi sistem *smart agriculture* berbasis *cloud computing* dalam penelitian ini menunjukkan adanya transformasi signifikan dalam cara pengelolaan data pertanian dilakukan. Sistem yang dibangun tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai pendukung pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision making*). Integrasi antara sensor IoT, jaringan komunikasi, dan platform cloud menciptakan ekosistem digital yang mampu meningkatkan efisiensi operasional serta akurasi informasi di tingkat lapangan. Hal ini sejalan dengan kebutuhan pertanian modern yang menuntut kecepatan, ketepatan, dan keberlanjutan dalam pengelolaan sumber daya.

Dari hasil yang diperoleh, terlihat bahwa penggunaan cloud computing memberikan keunggulan dalam hal skalabilitas dan fleksibilitas sistem. Data yang dikumpulkan dari berbagai titik sensor dapat dikelola secara terpusat tanpa memerlukan infrastruktur lokal yang kompleks. Selain itu, kemampuan akses data secara real-time memungkinkan pengguna, khususnya petani, untuk merespons perubahan kondisi lingkungan dengan lebih cepat. Namun demikian, keberhasilan sistem ini sangat dipengaruhi oleh kualitas jaringan komunikasi yang digunakan, terutama di wilayah dengan keterbatasan infrastruktur teknologi.

Meskipun sistem telah menunjukkan performa yang baik, terdapat beberapa aspek yang perlu dianalisis lebih lanjut untuk pengembangan ke depan. Berikut beberapa poin pembahasan utama:

1. Keandalan Infrastruktur Jaringan  
Kinerja sistem sangat bergantung pada stabilitas koneksi internet. Dalam kondisi jaringan yang tidak stabil, terjadi penurunan performa dalam pengiriman data yang berdampak pada keterlambatan informasi. Oleh karena itu, diperlukan solusi alternatif seperti penggunaan teknologi komunikasi berbasis *low-power wide-area network* (LPWAN) atau mekanisme penyimpanan lokal sementara (*local buffering*) untuk mengatasi gangguan jaringan.
2. Keamanan dan Privasi Data  
Penggunaan cloud computing membuka potensi risiko terhadap keamanan data, terutama terkait akses tidak sah dan kebocoran informasi. Meskipun sistem telah menerapkan autentikasi dasar dan enkripsi, diperlukan

penguatan lebih lanjut seperti implementasi enkripsi end-to-end, manajemen identitas pengguna yang lebih ketat, serta sistem deteksi intrusi untuk meningkatkan tingkat keamanan secara menyeluruh.

3. Adopsi dan Kesiapan Pengguna

Faktor manusia menjadi salah satu penentu keberhasilan implementasi teknologi ini. Tidak semua petani memiliki tingkat literasi digital yang memadai untuk memanfaatkan sistem secara optimal. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan edukatif dan pelatihan yang berkelanjutan agar teknologi yang dikembangkan dapat benar-benar dimanfaatkan secara efektif di lapangan.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menegaskan bahwa implementasi smart agriculture berbasis cloud computing memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas pengelolaan pertanian. Namun, keberhasilan jangka panjang sangat bergantung pada sinergi antara aspek teknologi, infrastruktur, dan kesiapan pengguna. Dengan pengembangan yang berkelanjutan, sistem ini dapat menjadi fondasi penting dalam mewujudkan pertanian cerdas yang adaptif terhadap tantangan masa depan

## VI. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem *smart agriculture* berbasis *cloud computing* untuk pengelolaan data pertanian yang terintegrasi dan real-time. Sistem yang dibangun mampu menghubungkan perangkat IoT di lapangan dengan platform cloud, sehingga data lingkungan seperti kelembapan tanah, suhu, dan intensitas cahaya dapat dikumpulkan, disimpan, serta dianalisis secara efisien. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan yang tinggi dalam pengiriman data, akurasi sensor yang memadai, serta kemampuan akses informasi yang cepat oleh pengguna. Penerapan teknologi ini terbukti memberikan manfaat dalam meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, khususnya dalam pengelolaan irigasi dan pemantauan kondisi lahan. Selain itu, penggunaan cloud computing memungkinkan skalabilitas sistem serta kemudahan dalam pengelolaan data dalam jumlah besar tanpa memerlukan infrastruktur lokal yang kompleks. Hal ini menjadikan sistem lebih fleksibel dan adaptif terhadap kebutuhan pengguna. Namun demikian, terdapat beberapa tantangan yang perlu diperhatikan, seperti ketergantungan pada stabilitas jaringan internet, aspek keamanan data, serta kesiapan pengguna dalam mengadopsi teknologi. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan keandalan sistem, memperkuat keamanan, serta mendorong literasi digital di kalangan petani. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan pertanian modern yang berbasis teknologi dan berkelanjutan.

**Kontribusi Penulis: Moh. Ali Sobit:** Konseptualisasi, Metodologi, Investigasi, Pengumpulan Data, Penulisan Draf Awal, Penulisan Tinjauan & Penyuntingan, Supervisi. Bertanggung jawab dalam perumusan ide penelitian, perancangan sistem smart agriculture berbasis cloud computing, pelaksanaan penelitian di lapangan, penyusunan naskah utama, serta validasi akhir hasil penelitian.

**Riko Adi Setiawan:** Perangkat Lunak, Implementasi Sistem, Analisis Data, Visualisasi, Kurasi Data, Penulisan Draf Awal, Penulisan Tinjauan & Penyuntingan. Bertanggung jawab dalam pengembangan dan integrasi perangkat IoT dengan platform cloud, pengolahan serta analisis data hasil pengujian, penyajian tabel/grafik hasil penelitian, serta penyempurnaan naskah artikel.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan -

Ucapan terima kasih -

Konflik penelitian dan penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan -

Ketersediaan data -

Persetujuan berdasarkan informasi ORCID tidak tersedia -

Penulis pertama:https -

Penulis kedua:https -

Penulis ketiga: -

## REFERENSI

- [1] F. P. E. Putra, F. Fauzan, S. Syirofi, M. Mursidi, D. Wahid, and A. Nuraini, "Sistem Pengendali Lingkungan Pertanian Dengan Wireless Sensor Network Untuk Mengoptimalkan Budidaya Hidroponik," 2024. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3461.
- [2] F. P. E. Putra, D. A. M. Putra, A. Firdaus, and A. Hamzah, "Analisis Kecepatan Dan Kinerja Jaringan 5G (generasi ke 5) Pada Wilayah Perkotaan," *INFORMATICS Educ. Prof. J. Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 47, 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2439.
- [3] F. P. E. Putra, R. W. Efendi, A. B. Tamam, and W. A. Pramadi, "Tren dan Praktik Terbaik dalam Pengembangan Web Berbasis API : Kajian Literatur terhadap Framework Laravel dan React," *Infomatek*, vol. 27, no. 1, pp. 165–178, 2025, doi:

- 10.23969/infomatek.v27i1.25122.
- [4] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, "Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 63–72, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [5] T. Chinbat, S. Madanian, D. Airehrour, and F. Hassandoust, "Machine learning cryptography methods for IoT in healthcare," *BMC Med. Inform. Decis. Mak.*, vol. 24, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s12911-024-02548-6.
- [6] F. Prasetyo Eka Putra, S. R. Sutarsih, S. Sofiyulloh, P. Permana, and M. Umar Mansyur, "Optimalisasi Perancangan Aplikasi Manajemen Data Koloman, Di Desa Pulau Mandangin Sampang – Madura Berbasis Website," *Rabit J. Teknol. dan Sist. Inf. Univrab*, vol. 9, no. 2, pp. 285–294, 2024, doi: 10.36341/rabit.v9i2.4840.
- [7] F. P. Eka Putra, L. Fitriyah, Z. Naimah, and S. A. Rifika, "Evaluasi Kinerja Aplikasi Wireshark Dalam Monitoring Jaringan Kecil Dengan Topologi Star dan Bus," *J. Ilm. Ilk. - Ilmu Komput. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 164–176, 2025, doi: 10.47324/ilkominfo.v8i2.343.
- [8] A. Baidawi, "JARINGAN SENSOR NIRKABEL DAN IoT UNTUK KOTA PINTAR PAMEKASAN," 2023, *academia.edu*. doi: 10.59697/jsik.v7i2.108.
- [9] C. M. Chen, Q. Miao, S. Kumari, M. K. Khan, and J. J. P. C. Rodrigues, "A Privacy-Preserving Authentication Protocol for Electric Vehicle Battery Swapping Based on Intelligent Blockchain," *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 10, pp. 17538–17551, 2024, doi: 10.1109/IJOT.2024.3360280.
- [10] X. Kong, L. Lu, and K. Xiong, "Privacy-preserving estimation of electric vehicle charging behavior: A federated learning approach based on differential privacy," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 28, 2024, doi: 10.1016/j.iot.2024.101344.
- [11] F. Prasetyo, E. Putra, M. Riski, M. S. Yahya, and M. H. Ramadhan, "Mengenal Teknologi Jaringan Nirkabel Terbaru Teknologi 5G," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 167–174, 2023, doi: 10.37034/jsisfotek.v5i1.233.
- [12] S. Arifin, N. P. Dewi, . U., M. N. Arifin, and F. P. E. Putra, "Aplikasi Pengolahan Data Mahasiswa Kkn Pada Universitas Madura," *Insa. Comtech Inf. Sci. Comput. Technol. J.*, vol. 8, no. 2, p. 24, 2023, doi: 10.53712/jic.v8i2.2085.
- [13] F. P. E. Putra, A. B. Tamam, R. W. Efendi, and Z. Muim, "Optimasi Keamanan DNS\_ Eksplorasi Optimal dengan Implementasi DNS Security Extensions (DNSSEC)," *Ris. dan E-Jurnal Manaj. Inform. Komput.*, vol. 8, no. 1, pp. 349–358, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.polgan.ac.id/index.php/remik/article/view/13398%0Ahttps://jurnal.polgan.ac.id/index.php/remik/article/download/13398/2325>
- [14] Y. Li *et al.*, "Rotary Wind-driven Triboelectric Nanogenerator for Self-Powered Airflow Temperature Monitoring of Industrial Equipment," *Adv. Sci.*, vol. 11, no. 13, 2024, doi: 10.1002/advs.202307382.
- [15] G. Li *et al.*, "Breaking Down Data Sharing Barrier of Smart City: A Digital Twin Approach," *IEEE Netw.*, vol. 38, no. 1, pp. 238–246, 2024, doi: 10.1109/MNET.140.2200512.
- [16] S. Safiuddin and F. P. E. Putra, "Strategi Efisiensi Wireless Sensor Network (WSN)," *INFORMATICS Educ. Prof. J. Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 52, 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2441.
- [17] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Noviyani Dwi Saputri, Fathur Rosi, and Rohilia Loati, "Optimalisasi Infrastruktur Cloud Networking melalui Integrasi SDN, NFV, dan Multi-Cloud," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.6099.
- [18] C. S. Peng and C. Wang, "Adaptive Transmissions for Batteryless Periodic Sensing," *Internet of Things*, vol. 5, no. 2, pp. 332–355, 2024, doi: 10.3390/iot5020017.
- [19] A. Zulfikri, F. P. E. Putra, M. A. Huda, H. Hasbullah, M. Mahendra, and M. Surur, "Analisis Keamanan Jaringan Dari Serangan Malware Menggunakan Filtering Firewall Dengan Port Blocking," 2023. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3379.
- [20] F. P. Eka Putra, A. Muzayyin, and M. U. Mansyur, "ANALISIS KUALITAS LAYANAN ABSSENSI BERBASIS FINGER BERDASARKAN Quality of Service," *J. Inform.*, vol. 24, no. 1, pp. 17–25, 2024, doi: 10.30873/ji.v24i1.3949.
- [21] A. P. K. Reddy *et al.*, "5G new radio key performance indicators evaluation for IMT-2020 radio interface technology," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 112290–112311, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3099845.
- [22] I. Hidayatullah, M. H. Khairi, I. Maulana, and F. P. Eka Putra, "Analisis Protokol Keamanan Jaringan dalam Era Internet of Things (IoT)," *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 356–366, 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30257.
- [23] F. P. Eka Putra, M. N. Arifin, K. Zulfana Imam, E. Saputra, and Sofiyullah, "Pengembangan Sistem Informasi Laboratorium Terintegrasi Sistem Akademik Menggunakan Agile Scrum," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 109–119, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.367.
- [24] M. Alzamel, H. A. Rizvi, N. Altwaijry, and I. Al-Turaiki, "WebFLex: A framework forweb browsers-based peer-To-peer federated learning systems usingWebRTC," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 78, no. 3, pp. 4177–4204, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.048370.
- [25] M. Zayyadi *et al.*, "Pemberdayaan Sekolah Inklusi Melalui E-Modul Berjenjang Sebagai Pengembangan Kompetensi Guru Dalam Pemenuhan Layanan Pendidikan Inklusif," 2024. doi: 10.37303/peduli.v8i2.681.
- [26] A. Alsumayt *et al.*, "Efficient security level in wireless sensor networks (WSNs) using four-factors authentication over the Internet of Things (IoT)," *PeerJ Comput. Sci.*, vol. 10, 2024, doi: 10.7717/peerj-cs.2091.
- [27] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Yogi Setiawan, Samsul Arifin, and Wahyu Hidayatullah, "Peran VPN dalam Menjaga Privasi Pengguna Jaringan Publik," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5834.
- [28] S. Karthic and S. M. Kumar, "Hybrid Optimized Deep Neural Network with Enhanced Conditional Random Field Based Intrusion Detection on Wireless Sensor Network," *Neural Process. Lett.*, vol. 55, no. 1, pp. 459–479, 2023, doi: 10.1007/s11063-022-10892-9.
- [29] F. P. Eka Putra, . S., A. Ramadhani, and . M., "Integrasi Teknologi Kuantum dan fiber Optik untuk Meningkatkan Keamanan dan Efisiensi Jaringan Masa Depan," *J. Ilm. Ilk. - Ilmu Komput. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 151–163, 2025, doi: 10.47324/ilkominfo.v8i2.342.
- [30] Y. Fan, Y. Liao, X. Yang, M. Q. Niu, and L. Q. Chen, "A nonlinear multi-stable electromagnetic energy harvester with segmented moving magnet configuration," *Int. J. Non. Linear. Mech.*, vol. 178, 2025, doi: 10.1016/j.ijnonlinmec.2025.105203.
- [31] O. D. Nekui, W. Wang, C. Liu, Z. Wang, and B. Ding, "IoT-Based Heartbeat Rate-Monitoring Device Powered by Harvested Kinetic Energy," *Sensors*, vol. 24, no. 13, 2024, doi: 10.3390/s24134249.
- [32] R. Zhu, A. Boukerche, Y. Chen, and Q. Yang, "A reliable cluster-based opportunistic routing protocol for underwater wireless sensor networks," *Comput. Networks*, vol. 251, 2024, doi: 10.1016/j.comnet.2024.110622.
- [33] A. A. Yinusa *et al.*, "Development of an App for analyzing and monitoring non-linear fluid-induced vibration of nanotube using analytical and machine learning approaches," *Next Mater.*, vol. 9, 2025, doi: 10.1016/j.nxmte.2025.101277.
- [34] F. P. Eka Putra, A. M. Ubaidillah Solichin, M. N. Wildanul Hakim, and M. T. Ramadhan, "Pemanfaatan Teknologi Wireless dan Mobile Network Berbasis 5G Untuk Pemerataan Akses Jaringan di Indonesia," *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 415–425, 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30559.
- [35] Z. Qiu, S. Maniyil, W. Peng, A. C. van der Ham, and S. Du, "A Self-Powered Bipolar Rectifierless Series-SSHI Circuit With Dual-Polarity Energy Extraction for Piezoelectric Energy Harvesting," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 40, no. 10, pp. 15937–15948, 2025,

- doi: 10.1109/TPEL.2025.3577521.
- [36] S. Yang, W. Zhao, C. M. Wang, W. Y. Dong, and X. Ju, "Betweenness Centrality Based Dynamic Source Routing for Flying Ad Hoc Networks in Marching Formation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 74, no. 8, pp. 12791–12798, 2025, doi: 10.1109/TVT.2025.3550336.
- [37] Y. Xiuwu, J. Shiqi, and L. Yong, "Non-Uniform WSN Clustering Routing Protocol Based on Non-Cooperative Game," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 140, no. 1, pp. 561–590, 2025, doi: 10.1007/s11277-025-11737-z.
- [38] B. Tang, H. Ngo, Y. Ma, and B. Alhakami, "DAO2: Overcoming Overall Storage Overflow in Intermittently Connected Sensor Networks," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 31, no. 6, pp. 3143–3158, 2023, doi: 10.1109/TNET.2023.3273553.
- [39] N. Malyadri *et al.*, "A predictive energy-efficient adaptive routing methodology for Mobile Ad hoc Networks," *IET Networks*, vol. 14, no. 1, 2025, doi: 10.1049/ntw2.70001.
- [40] R. Stepancikova, R. Olejnik, J. Matyas, M. Masar, B. Hausnerova, and P. Slobodian, "Pressure-Driven Piezoelectric Sensors and Energy Harvesting in Biaxially Oriented Polyethylene Terephthalate Film," *Sensors*, vol. 24, no. 4, 2024, doi: 10.3390/s24041275.
- [41] W. Li, G. Wang, C. Yang, X. Yang, and R. Song, "An omnidirectional piezoelectric energy harvester coupling vortex-induced vibration and wake galloping," *Smart Mater. Struct.*, vol. 34, no. 2, 2025, doi: 10.1088/1361-665X/adaa40.
- [42] Y. Peng, X. Li, K. Gu, J. Chen, S. K. Das, and X. Zhang, "Achieving Efficient and Privacy-Preserving Reverse Skyline Query Over Single Cloud," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 37, no. 1, pp. 29–44, 2025, doi: 10.1109/TKDE.2024.3487646.
- [43] E. Giglio, G. Luzzani, V. Terranova, G. Trivigno, A. Niccolai, and F. Grimaccia, "An Efficient Artificial Intelligence Energy Management System for Urban Building Integrating Photovoltaic and Storage," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 18673–18688, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3247636.
- [44] H. B. Salameh, R. Al-Maaitah, H. Al-Obiedollah, and A. Al-Ajlouni, "Energy-Efficient Power-Controlled Resource Allocation for MIMO-Based Cognitive-Enabled B5G/6G Indoor-Flying Networks," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 106828–106840, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3212380.
- [45] X. Peng and H. Wang, "Capturing Spatial-Temporal Traffic Patterns: A Dynamic Partitioning Strategy for Heterogeneous Traffic Networks," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 131982–131992, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3413852.
- [46] J. Ye, Y. Lu, K. Wang, Q. Jiao, X. Chen, and L. Wang, "Design and Stage Analysis of a Non-Invasive Monitoring System for Determining Formaldehyde Release from Wood-Based Panels by the Chamber Method," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 137952–137969, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3455375.
- [47] S. Wu, W. Wang, and Z. Ding, "Detecting malicious DoH traffic: Leveraging small sample analysis and adversarial networks for detection," *J. Inf. Secur. Appl.*, vol. 84, 2024, doi: 10.1016/j.jisa.2024.103827.
- [48] F. P. E. Putra, I. N. S. Degeng, S. Ulfa, and W. Kamdi, "The Evolution of Quality Education: Impacts and Challenges of Using Open Educational Resources (OER) and Open Educational Practices (OEP) in the Conceive - Design - Implement - Operate (CDIO) Framework," *TEM J.*, vol. 13, no. 1, pp. 386–395, 2024, doi: 10.18421/TEM131-40.
- [49] J. Cai, L. Yan, A. Seyedkanani, V. Orsat, and A. Akbarzadeh, "Nano-architected GaN metamaterials with notable topology-dependent enhancement of piezoelectric energy harvesting," *Nano Energy*, vol. 129, 2024, doi: 10.1016/j.nanoen.2024.109990.
- [50] E. Heidari, "A novel energy-aware method for clustering and routing in IoT based on whale optimization algorithm & Harris Hawks optimization," *Computing*, vol. 106, no. 3, pp. 1013–1045, 2024, doi: 10.1007/s00607-023-01252-z.
- [51] W. A. Younis and S. H. Hussein, "Design of an efficient energy harvesting rectifier circuit for powering Wireless Sensor Nodes," *Int. J. Electron. Telecommun.*, vol. 71, no. 1, pp. 325–331, 2025, doi: 10.24425/ijet.2025.153577.